

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ

ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 171 «Електроніка»,
освітніми програмами «Акустичні електронні системи та технології обробки
акустичної інформації» та «Електронні системи мультимедіа та засоби
Інтернету речей»*

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №3 від 05.11.2020 р.)

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Фізичні основи електроніки: домашня контрольна робота [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», освітніх програм «Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації» та «Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: К. С. Дрозденко, О.І. Дрозденко, Д. В. Паренюк. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,27 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 29 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №3 від 05.11.2020 р.)
за поданням Вченої ради факультету електроніки (протокол № 10/2020 від 19.10.2020 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ

ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА

Укладачі: *Дрозденко Катерина Сергіївна, канд. техн. наук*
Дрозденко Олександр Іванович, канд. техн. наук, доц.
Паренюк Дмитро Володимирович

Відповідальний редактор: *Найда С. А., завідувач кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем, д-р техн. наук, проф.*

Рецензент: *Клен К.С., канд. техн. наук, доц., доцент кафедри електронних пристроїв та систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

При підготовці бакалаврів за спеціальністю 171 «Електроніка», освітніми програмами «Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації» та «Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей» однією з нормативних дисциплін циклу професійної підготовки є «Фізичні основи електроніки».

Індивідуальним семестровим завданням даного курсу є домашня контрольна робота. Її мета – отримання студентами навичок розрахунку найпростіших випрямних схем, а також динамічного режиму і h -параметрів біполярного транзистора, включеного по схемі зі спільним емітером.

Задачі, запропоновані для виконання в контрольній роботі, повинні допомогти студенту в оволодінні термінологією, основними положеннями розділу "Напівпровідникові прилади", надати досвід у вирішенні найпростіших інженерних завдань, які зможуть бути корисними в процесі навчання, у практичній діяльності та наукових дослідженнях за фахом.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Загальні вимоги до виконання та оформлення домашньої контрольної роботи.....	5
1.1. Завдання на домашню контрольну роботу.....	5
1.2. Структура пояснювальної записки до домашньої контрольної роботи.....	6
1.3. Рекомендації щодо оформлення пояснювальної записки.....	6
2. Основні теоретичні відомості.....	8
2.1. Найпростіші випрямлячі, що містять послідовне з'єднання діодів.....	8
2.2. Найпростіші випрямлячі, що містять паралельне з'єднання діодів.....	11
2.3. Динамічний режим роботи транзистора.....	13
2.4. Розрахунок h -параметрів транзистора	17
3. Контрольні питання.....	22
Додатки.....	24
Додаток Д.1. Параметри елементів схеми найпростішого випрямляча для першого завдання домашньої контрольної роботи.....	25
Додаток Д.2. Вихідні дані для другого завдання домашньої контрольної роботи.....	26
Додаток Д.3. Зразок оформлення титульного аркушу пояснювальної записки до домашньої контрольної роботи	27
Додаток Д.4. Зразок оформлення індивідуального завдання до домашньої контрольної роботи.....	28
Список рекомендованої літератури.....	29

ВСТУП

Домашня контрольна робота (ДКР) з дисципліни "Фізичні основи електроніки" – це індивідуальні завдання, що полягають у самостійному розв'язанні студентом певних практичних задач на основі засвоєного теоретичного матеріалу.

У навчальному посібнику наведено матеріал, що дозволяє:

- а) закріпити і поглибити теоретичні знання про напівпровідникові діоди та біполярні транзистори, отримані в лекційному курсі;
- б) допомогти студентам самостійно виконати розрахунок найпростішого випрямного кола (частина перша), а також динамічного режиму та h -параметрів біполярного транзистора, включеного по схемі зі спільним емітером за індивідуальним завданням;
- в) підвищити якість змісту та оформлення ДКР.

Навчальний посібник складається з трьох розділів, додатків та списку рекомендованої літератури для успішного виконання ДКР.

У першому розділі наведені завдання, а також загальні рекомендації щодо змісту та оформлення ДКР.

У першій частині другого розділу викладені основні теоретичні відомості стосовно найпростіших випрямлячів напруги (струму), що містять послідовне та паралельне з'єднання діодів. У другій частині – інформація щодо розрахунку динамічного режиму біполярного транзистора, включеного по схемі зі спільним емітером, який працює на активне навантаження та розрахунку h -параметрів.

Третій розділ містить контрольні питання для отримання об'єктивної інформації про якість засвоєння студентами тем, винесених на ДКР.

У додатках наведені індивідуальні варіанти завдання на ДКР, зразки оформлення титульного аркушу пояснювальної записки, а також індивідуального завдання.

1. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1.1. Завдання на домашню контрольну роботу

1. Розрахуйте і зобразіть схеми найпростіших випрямляючих кіл, що дозволяють:

- а) забезпечити випрямлення синусоїдної напруги з амплітудним значенням U_m , використовуючи діоди згідно номеру варіанту.
- б) отримати випрямлений струм $I_{випр.}$, використовуючи діоди згідно номеру варіанту.

Амплітудне значення напруги і випрямленого струму, тип діода і його основні параметри наведені в додатку Д.1.

2. Транзистор (див. додаток Д.2), включений в підсилювальний каскад по схемі зі спільним емітером, працює на активне навантаження R_H (рис. 1.1). Напруга живлення подається на каскад від джерела енергії, ЕРС якого дорівнює E_K . Для подачі зміщення в коло бази використовується резистор R_B .

- а) Побудувати динамічну характеристику і визначити положення робочої точки на вихідних та вхідних характеристиках транзистора для забезпечення оптимального (неспотвореного) підсилення.
- б) Визначити в робочій точці параметри h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} .

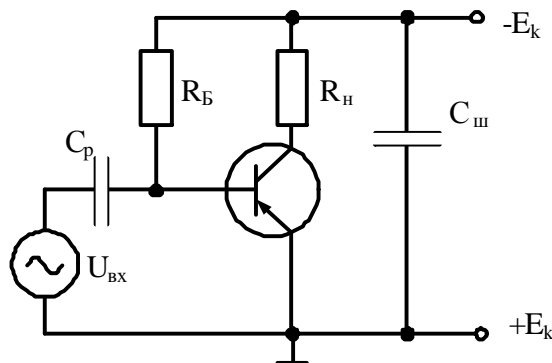


Рис. 1.1. Схема підсилювального каскаду

1.2. Структура пояснювальної записки до домашньої контрольної роботи

- титульний аркуш;
- індивідуальне завдання на ДКР;
- розрахункова частина:
 - завдання 1;
 - завдання 2;
- список літератури.

1.3. Рекомендації щодо оформлення пояснювальної записки

Пояснювальна записка до ДКР повинна відповідати вимогам стандартів, затверджених у відповідності до чинного законодавства [1].

Пояснювальну записку до ДКР виконують у рукописному вигляді або набирають на комп'ютері, а потім роздруковують на одному боці аркуша білого паперу формату А4 без рамок і штампів. Якщо робота набирається на комп'ютері, слід використовувати наступні налаштування: шрифт Times New Roman, 14 пт, міжрядковий інтервал 1,5, береги: верхній, лівий і нижній – не менше 20 мм, правий – не менше 10 мм.

Титульний аркуш оформлюють згідно зразка (додаток Д.3).

В індивідуальному завданні на ДКР наводять умови задач із вказаними типами напівпровідникових компонентів, вихідними значеннями заданих параметрів згідно номера варіанта, перелік величин, які підлягають розрахунку. Його оформлюють згідно зразка (додаток Д.4).

Кожне нове завдання рекомендується починати з нового аркушу. У кінці кожного виконаного завдання необхідно привести повне формулювання отриманої відповіді.

Всі схеми повинні бути накреслені відповідно до вимог ЄСКД.

В роботі розрахунки і формули слід супроводжувати коментарями (посилання на літературні джерела, визначення, властивості та ін.), а також

наводити проміжні етапи обчислень. Наведення числового результату розрахунків без попереднього запису у формулі замість буквених символів числових значень величин, які входять до неї, не допускається [2].

Сторінки слід нумерувати арабськими цифрами, дотримуючись наскрізної нумерації впродовж усього тексту пояснювальної записки. Номер сторінки проставляють на нижньому полі аркуша без крапки в кінці. Титульний аркуш включають до загальної нумерації сторінок. Номер сторінки на титульному аркуші не проставляють [2].

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

2.1. Найпростіші випрямлячі, що містять послідовне з'єднання діодів

Випрямний діод – це прилад, з одним p - n -переходом і двома зовнішніми виводами – анодом і катодом, призначений для перетворення змінної напруги в постійну.

Принцип дії діоду базується на властивості p - n -переходу проводити струм тільки у одному напрямку (добре проводить струм в прямому напрямку і погано в зворотному).

Схема найпростішого випрямляча (рис. 2.1) містить діод і навантажувальний резистор, під'єднані до джерела напруги.

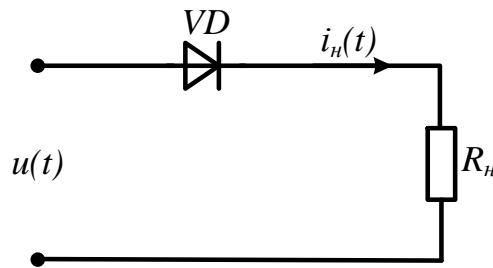


Рис. 2.1. Схема однонапівперіодного випрямляча

Роботу випрямляча можна пояснити за допомогою часових діаграм, наведених на рис. 2.2 [3].

Під дією змінної напруги $u(t) = U_m \sin \omega t$ в періоди часу $t \in (0; T/2)$ напівпровідниковий діод зміщений в прямому напрямку і проводить струм. При цьому напруга і струм в навантаженні повторюють форму вхідного сигналу. В моменти часу $t \in (T/2; T)$ діод зміщений в зворотному напрямку, він не проводить струм і, відповідно, струм і напруга в навантаженні дорівнюють нулю.

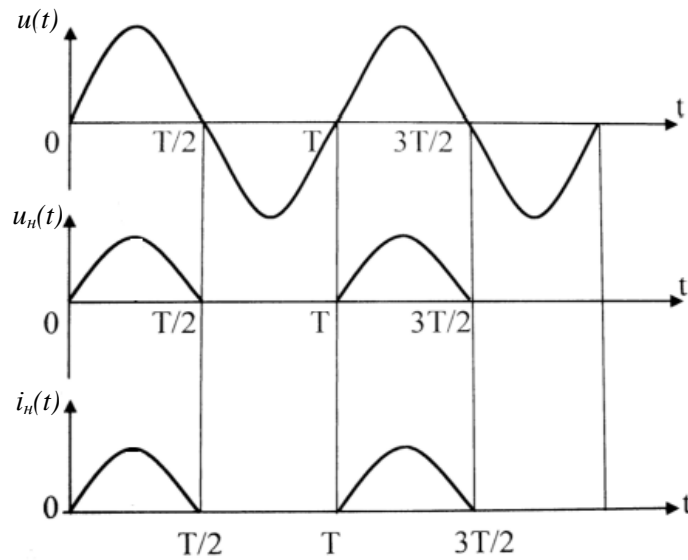


Рис. 2.2. Часові діаграми, що ілюструють роботу випрямляча

Якщо необхідно отримати випрямлення високої напруги з амплітудним значенням U_m при відсутності високовольтних діодів, тобто коли $U_m \geq U_{звор.мах}$, доводиться з'єднувати низьковольтні діоди послідовно (рис. 2.3) [3].

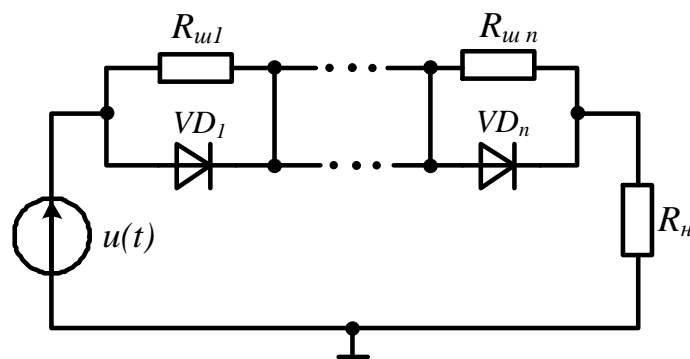


Рис. 2.3. Послідовне з'єднання напівпровідникових діодів

Необхідна кількість діодів визначається за формулою

$$n = \frac{U_m}{k_U U_{звор.мах}}, \quad (2.1)$$

де k_U – коефіцієнт навантаження діодів по напрузі; $k_U \in [0,5...0,8]$.

Якщо отримане значення n дробове, округлюють до найближчого більшого цілого числа.

Різні екземпляри діодів одного типу мають великий розкид значень зворотних опорів і пробивних напруг. Крім того, зворотні вітки вольт-амперної характеристики діодів по-різному можуть змінюватися при зміні температури і з часом. Все це призводить до того, що прикладена до послідовно з'єднаних діодів напруга виділяється в основному на діоді з найбільшим зворотним опором, при цьому вона може виявитися вище граничної $U_{звор.мах}$. У результаті можливий незворотній пробій. Вихід з ладу одного з діодів в послідовному колі веде до пробою інших.

Для того, щоб зворотна напруга розподілялася рівномірно між діодами, незалежно від їх зворотних опорів, застосовують шунтування резисторами. Опори $R_{ш}$ резисторів повинні бути однакові і значно менше найменшого із зворотних опорів діодів. Але разом з тим $R_{ш}$ не повинні бути занадто малими, щоб не погіршилося випрямлення.

$$R_{ш} \leq \frac{nU_{звор.мах} - 1,1U_m}{(n-1)I_{звор.мах}}. \quad (2.2)$$

Приклад 1. Розрахуйте і зобразіть схему електричного кола для випрямлення синусоїдної напруги з амплітудним значенням $U_m = 990 \text{ В}$, використовуючи діоди, у яких $U_{звор.мах} = 600 \text{ В}$ і $I_{звор.мах} = 100 \text{ мкА}$.

Розв'язок

Оскільки $U_m > U_{звор.мах}$, необхідно використати послідовне з'єднання діодів. За формулою (2.1), обравши коефіцієнт навантаження діодів по напрузі $k_U = 0,7$, визначаємо необхідну кількість діодів:

$$n = \frac{U_m}{k_U U_{звор. max}} = \frac{990}{0,7 \cdot 600} = 2,36.$$

Округлюємо отриману кількість до найближчого більшого цілого, $n = 3$.

Опори шунтуючих резисторів визначаємо за формулою (2.2):

$$R_{ш} \leq \frac{nU_{звор. max} - 1,1U_m}{(n-1)I_{звор. max}} = \frac{3 \cdot 600 - 1,1 \cdot 990}{(3-1) \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 3,56 \text{ МОм}.$$

Розрахована схема випрямляча наведена на рис. 2.4.

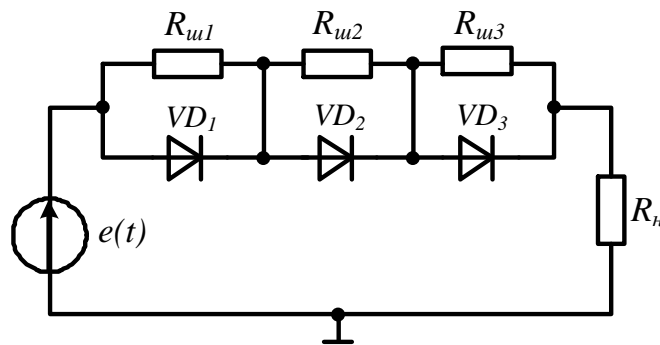


Рис. 2.4. Схема до прикладу 1

2.2. Найпростіші випрямлячі, що містять паралельне з'єднання діодів

Паралельне з'єднання діодів (рис. 2.5) використовують в тому випадку, коли потрібно отримати випрямлений струм з амплітудним значенням $I_{випр. m}$, більший граничного струму одного діода $I_{пр. max}$ [3].

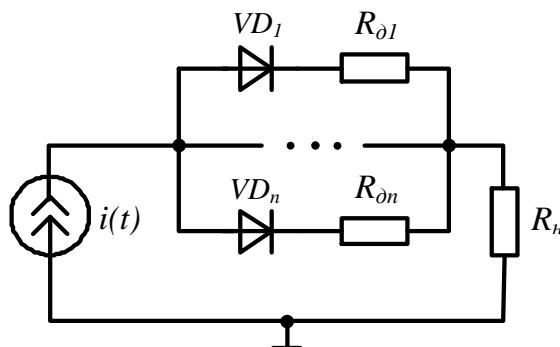


Рис. 2.5. Паралельне з'єднання напівпровідникових діодів

Необхідна кількість діодів визначається за формулою

$$n = \frac{I_{\text{випр.м}}}{k_I I_{\text{пр.мах}}}, \quad (2.3)$$

де k_I – коефіцієнт навантаження діодів по струму; $k_I \in [0,5 \dots 0,8]$.

Але якщо діоди одного типу просто з'єднати паралельно, то внаслідок розкиду прямих опорів у різних екземплярів діодів одного і того ж типу вони виявляться по-різному навантаженими і в деяких струм буде більше граничного. Для зрівняння струмів через діоди послідовно до кожного з них вмикають додаткові резистори R_δ .

$$R_\delta \geq \frac{U_{\text{пр}}(n-1)}{nI_{\text{пр.мах}} - 1,1I_{\text{випр.м}}}. \quad (2.4)$$

Приклад 2. Розрахуйте і зобразіть схему випрямляючого кола, що дозволяє отримати випрямлений струм $I_{\text{випр.м}} = 400 \text{ мА}$, використовуючи діоди у яких $U_{\text{пр}} = 1 \text{ В}$ і $I_{\text{пр.мах}} = 300 \text{ мА}$.

Розв'язок

Оскільки $I_{\text{випр.м}} > I_{\text{пр.мах}}$, необхідно використати паралельне з'єднання діодів. За формулою (2.3), обравши коефіцієнт навантаження діодів по струму $k_I = 0,8$, визначаємо необхідну кількість діодів:

$$n = \frac{I_{\text{випр.м}}}{k_I I_{\text{пр.мах}}} = \frac{400 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 300 \cdot 10^{-3}} = 1,67 \Rightarrow n = 2.$$

Значення опорів додаткових резисторів знаходимо за формулою (2.4):

$$R_o \geq \frac{U_{np}(n-1)}{nI_{np.\max} - 1,1I_{сипр.м}} = \frac{1 \cdot (2-1)}{2 \cdot 300 \cdot 10^{-3} - 1,1 \cdot 400 \cdot 10^{-3}} = 6,25 \text{ Ом.}$$

Розрахована схема випрямляча наведена на рис. 2.6.

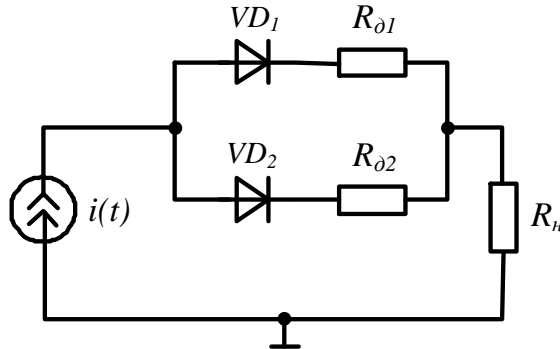


Рис. 2.6. Схема до прикладу 2

2.3. Динамічний режим роботи транзистора

Режим роботи транзистора на навантаження називають **динамічним**. На схемі, наведеній на рис. 1.1, зображена схема включення транзистора зі спільним емітером, в якій вхідне коло – це коло між базою та емітером, вихідне – між колектором та емітером. У вхідне коло вмикають джерело енергії, сигнал якого потрібно підсилити, у вихідне коло вмикають опір навантаження. Напруга на емітерний перехід подається через резистор R_B . Величина R_B визначає вихідний струм бази транзистора за відсутності вхідного сигналу. Резистор R_n – навантажувальний резистор транзисторного каскаду, призначений для подачі на колектор транзистора електричного струму від джерела живлення [4].

Дана схема призначена для підсилення вхідного сигналу по напрузі і по струму. При цьому вхідний сигнал, підсилений транзистором, інвертується (кут зсуву фаз між вихідним і вхідним сигналом становить 180°). Вхідний опір транзисторного каскаду приймає значення від сотень Ом до одиниць кОм, а вихідний – від одиниць до десятків кОм. Перевагою схеми зі спільним

емітером є зручність живлення її від одного джерела, оскільки на колектор і базу подається напруга одного знака. До недоліків слід віднести залежність підсилення в схемі від частоти (з підвищенням частоти підсилення значно знижується), а також залежність роботи схеми від температури [3].

Рівняння динамічного режиму для вихідного кола має вигляд [4]:

$$U_{K-E} = E_K - I_K R_n, \quad (2.5)$$

де U_{K-E} , I_K – відповідно напруга і струм колектора.

При значенні $I_K = 0$ з рівняння (2.5) маємо $U_{K-E} = E_K$ (точка В на рис. 2.7, а); при $U_{K-E} = 0$ – $I_K = \frac{E_K}{R_n}$ (точка А на рис. 2.7, а). Оскільки навантаження R_n є чисто активним, то, з'єднуючи прямою ці дві точки, отримуємо динамічну вихідну характеристику (навантажувальну пряму).

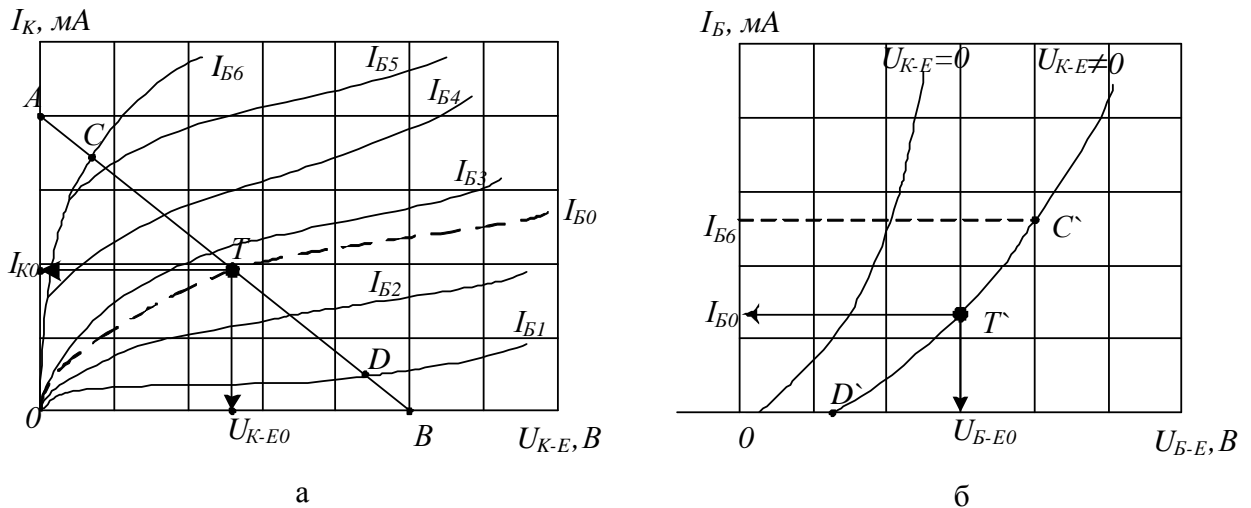


Рис. 2.7. Статичні характеристики транзистора

Обираємо на ній робочу ділянку. Для отримання досить великої вихідної потужності в якості робочої ділянки доцільно розглядати відрізок CD. Точка С – це перетин навантажувальної прямої АВ з вихідною

характеристикою, що відповідає найбільшому струму бази (рис. 2.7, а), точка D – перетин АВ з вихідною характеристикою, що відповідає найменшому ненульовому струму бази (рис. 2.7, а).

Визначаємо струм I_{B0} що є середнім по відношенню до струмів бази в точках С і D:

$$I_{B0} = \frac{I_{B6} + I_{B1}}{2}. \quad (2.6)$$

Якщо на статичних характеристиках транзистора, що використовуються для розрахунку динамічного режиму, не наведена вихідна статична характеристика для знайденого струму бази I_{B0} , її потрібно побудувати самостійно (врахувати при цьому, що однаковим змінам I_B відповідають однакові зміни I_K).

Робоча точка лежить на перетині динамічної вихідної характеристики і статичної вихідної характеристики, що відповідає струму бази I_{B0} . Координати робочої точки $T = (U_{K-E0}; I_{K0})$ визначають значення постійної складової струму колектора I_{K0} і напруги між колектором і емітером U_{K-E0} при відсутності змінного вхідного сигналу.

Будуємо динамічну характеристику на вхідних статичних характеристиках транзистора.

Якщо задано сімейство вхідних характеристик транзистора, то можна побудувати вхідну динамічну характеристику шляхом переносу по точкам на це сімейство вихідної динамічної характеристики. Якщо ж в довіднику наведені вхідні статичні характеристики тільки для двох значень напруги між колектором і емітером – $U_{K-E} = 0$ і $U_{K-E} \neq 0$, то в якості вхідної динамічної характеристики обирають статичну вхідну характеристику для $U_{K-E} \neq 0$.

На цій характеристиці (рис. 2.7, б) відмічаємо точки D', T', C', що відповідають значенням I_{B1} , I_{B0} , I_{B6} . Отримуємо координати робочої точки на вхідних характеристиках $T' = (U_{B-E0}; I_{B0})$.

Приклад 3. Визначити робочу точку на вихідних та вхідних характеристиках транзистора ГТ383А, включеного в підсилювальний каскад по схемі зі спільним емітером, що працює на активне навантаження $R_H = 400$ Ом. Напруга живлення подається на каскад від джерела енергії, з ЕРС $E_K = 4$ В.

Розв'язок

Перемальовуємо з довідника [5] сімейство статичних вихідних та вхідних характеристик транзистора (рис. 2.8).

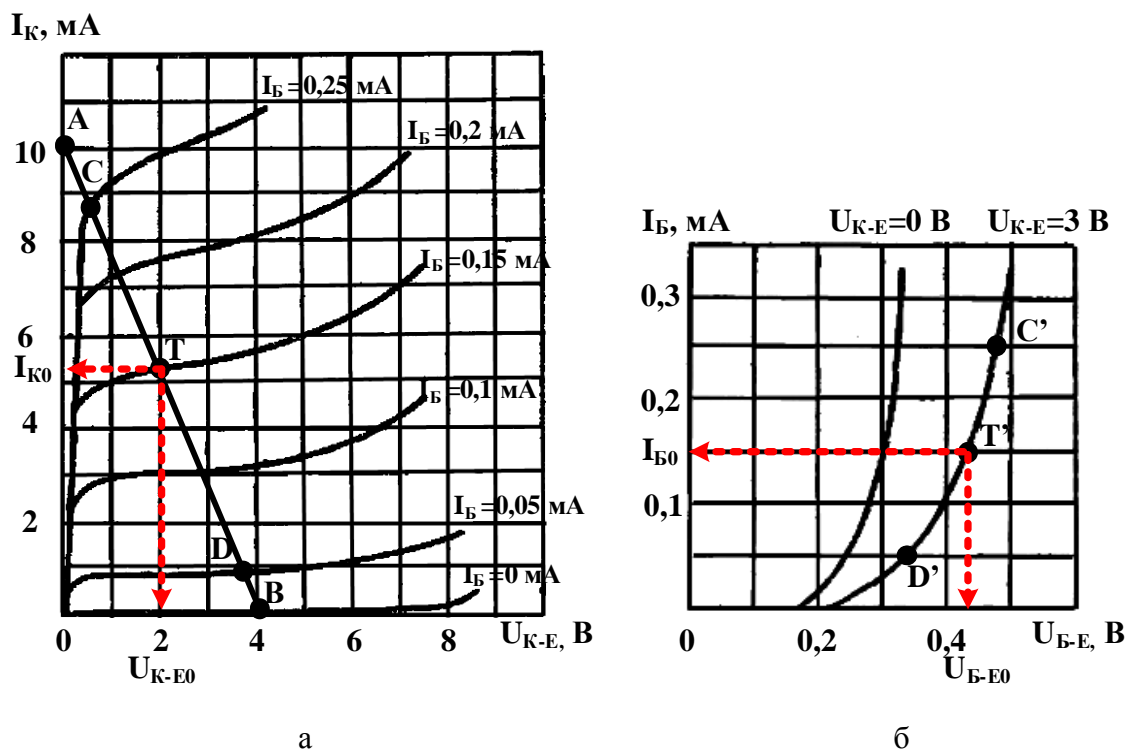


Рис. 2.8. Статичні характеристики транзистора ГТ383А:

а – вихідні; б – вхідні

Будуємо на статичних вихідних характеристиках динамічну характеристику транзистора (2.8, а). Вона проходить через дві точки:

- 1) т. А з координатами $U_{K-E} = 0$ В та $I_K = \frac{E_K}{R_H} = \frac{4}{400} = 10$ мА.

2) т. В з координатами $I_K = 0$ А та $U_{K-E} = E_K = 4$ В.

Обираємо на динамічній характеристиці робочу ділянку CD.

Визначаємо струм I_{B0} що є середнім по відношенню до струмів бази в точках C і D:

$$I_{B0} = \frac{(0,25 + 0,05) \cdot 10^{-3}}{2} = 0,15 \text{ мА}.$$

На перетині динамічної вихідної характеристики і статичної вихідної характеристики, що відповідає струму бази I_{B0} позначаємо робочу точку T . Її координати: $U_{K-E0} = 2$ В; $I_{K0} = 5,2$ мА.

В якості вхідної динамічної характеристики обираємо статичну вхідну характеристику для $U_{K-E} = 3$ В (рис. 2.8, б). На цій характеристиці відмічаємо точки D' , T' , C' , що відповідають значенням $I_B = 0,05$ мА, $I_{B0} = 0,15$ мА, $I_B = 0,25$ мА. Отримуємо координати робочої точки T' на вхідних характеристиках $U_{B-E0} = 0,43$ В; $I_{B0} = 0,15$ мА.

2.4. Розрахунок h -параметрів транзистора

Транзистор у загальному випадку являє собою активний нелінійний чотириполюсник. Згідно теорії чотириполюсників, співвідношення між струмами і напругами на вході і виході чотириполюсника можуть бути записані у вигляді [3]:

$$\begin{cases} U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2, \\ I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2. \end{cases} \quad (2.7)$$

Коефіцієнти $h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}$, що входять до цих рівнянь, називаються h -параметрами транзистора, а про систему говорять, що вона записана в

формі h –параметрів. На сьогоднішній день h –параметри найбільш поширені при розрахунках транзисторних низькочастотних схем. Вони легко визначаються експериментально, а також графічно по статичним характеристикам транзистора.

Кожний із цих параметрів має певний фізичний зміст.

Зокрема, параметр h_{11} являє собою величину **вхідного опору транзистора** при короткому замиканні на виході і вимірюється в омах:

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_{Б-Е}}{\Delta I_{Б}} \right|_{U_{К-Е}=U_{К-Е0}} . \quad (2.8)$$

h_{11} визначають по вхідній характеристиці транзистора, що відповідає напрузі $U_{К-Е} \neq 0$.

Параметр h_{12} називається **коефіцієнтом зворотнього зв'язку** і дорівнює відношенню вхідної напруги до вихідної при розімкненому вхідному колі:

$$h_{12} = \left. \frac{\Delta U_{Б-Е}}{\Delta U_{К-Е}} \right|_{I_{Б}=I_{Б0}} . \quad (2.9)$$

h_{12} визначають по вхідним характеристикам транзистора.

Параметр h_{21} називається **коефіцієнтом підсилення по струму** і дорівнює відношенню вихідного струму до вхідного при короткозамкненому виході:

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_{К}}{\Delta I_{Б}} \right|_{U_{К-Е}=U_{К-Е0}} . \quad (2.10)$$

h_{21} визначають по вихідним характеристикам транзистора.

Параметр h_{22} являє собою *вихідну провідність транзистора* при розімкнутих вхідних затискачах і вимірюється в См:

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{K-E}} \right|_{I_B = I_{B0}}. \quad (2.11)$$

h_{22} визначають по вихідним характеристикам транзистора.

Приклад 4. Для транзистора з прикладу 3 визначити h – параметри в робочій точці.

Розв’язок

Для розрахунку h – параметрів по статичним характеристикам транзистора використаємо метод «двох точок», згідно якого значення параметра, визначеного вздовж відрізка, справедливе і для точки, що лежить посередині цього відрізка (робочої точки).

Параметр h_{11} визначаємо по вхідній статичній характеристиці транзистора, що відповідає напрузі $U_{K-E} = 3$ В (рис. 2.9, а).

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_{B-E}}{\Delta I_B} \right|_{U_{K-E} = U_{K-E0}} = \frac{0,46 - 0,4}{(0,2 - 0,1) \cdot 10^{-3}} = 600 \text{ Ом}.$$

Параметр h_{12} визначаємо по вхідним характеристикам транзистора (рис. 2.9, б).

$$h_{12} = \left. \frac{\Delta U_{Б-Е}}{\Delta U_{К-Е}} \right|_{I_{Б}=I_{Б0}} = \frac{0,43 - 0,3}{3 - 0} = 0,043.$$

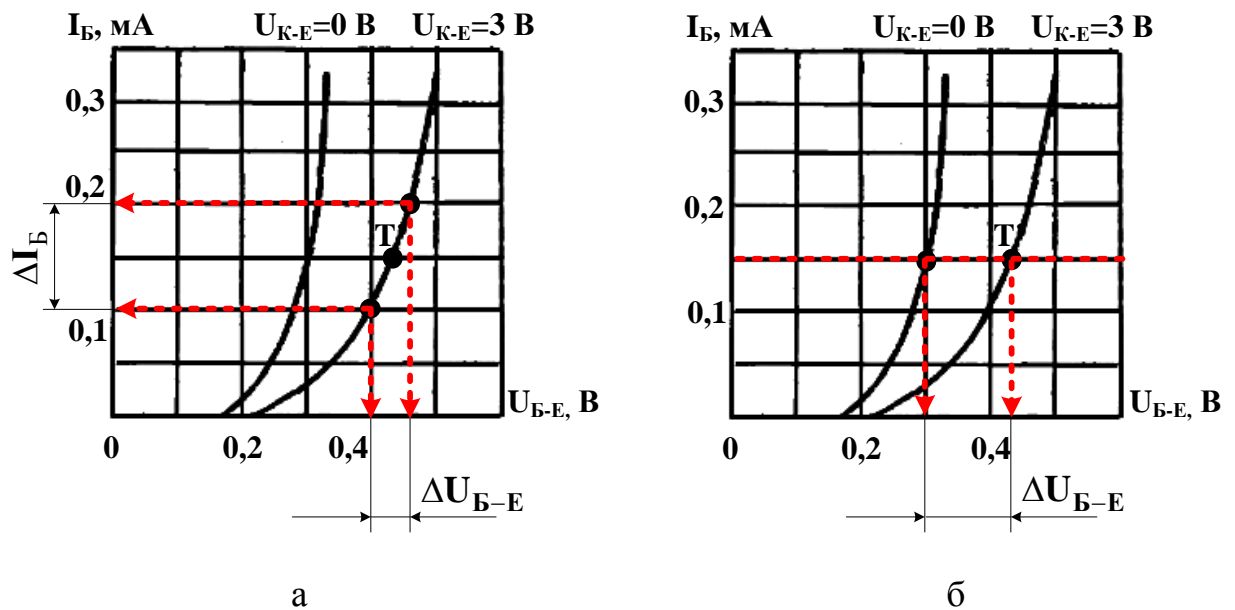


Рис. 2.9. Вхідні статичні характеристики транзистора ГТ383А

Параметр h_{21} визначаємо по вихідним характеристикам транзистора (рис. 2.10, а).

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{U_{К-Е}=U_{К-Е0}} = \frac{(7,5 - 3) \cdot 10^{-3}}{(0,2 - 0,1) \cdot 10^{-3}} = 45.$$

Параметр h_{22} визначаємо по вихідній характеристиці транзистора, що відповідає $I_B = 0,15$ мА (рис. 2.10, б).

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{К-Е}} \right|_{I_B=I_{Б0}} = \frac{(5,5 - 5) \cdot 10^{-3}}{3 - 1} = 250 \text{ мкСм}.$$

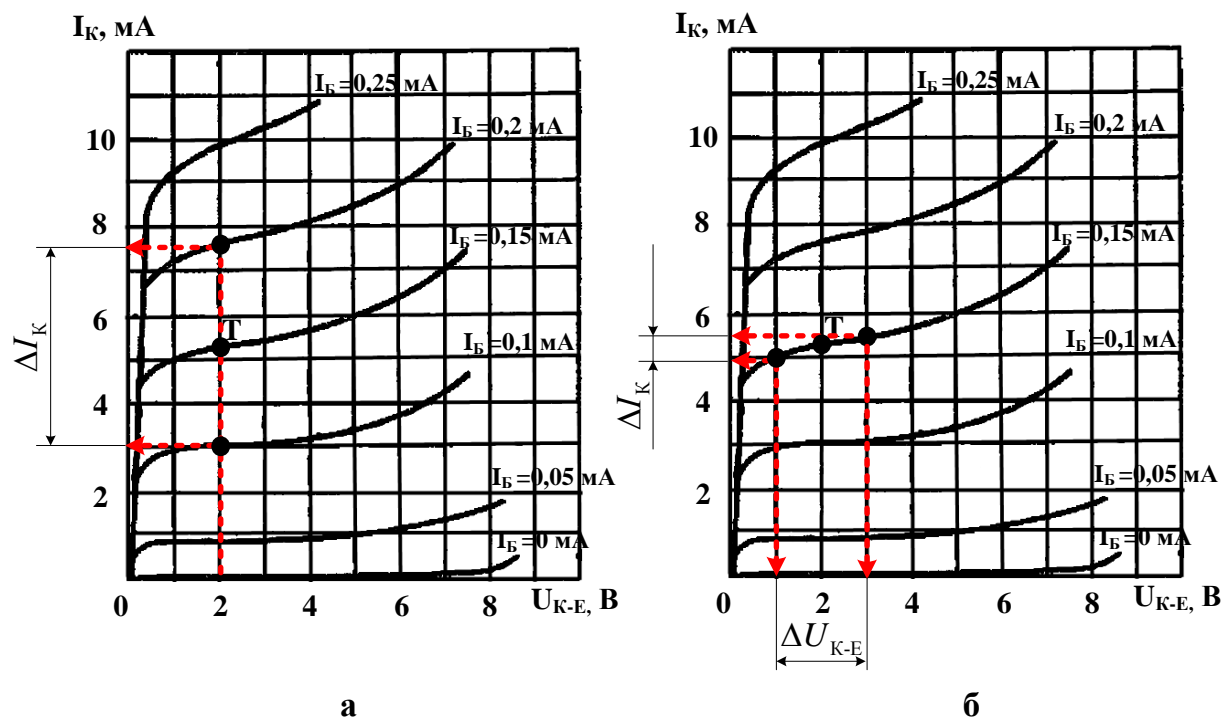


Рис. 2.10. Вихідні статичні характеристики транзистора ГТ383А

3. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що називається напівпровідниковим діодом? Умовне графічне позначення напівпровідникового діода.
2. Назвіть область застосування напівпровідникових діодів.
3. Замалюйте схему найпростішого випрямляча.
4. В якому випадку використовують послідовне з'єднання діодів?
5. В якому випадку використовують паралельне з'єднання діодів?
6. Що називають біполярним транзистором?
7. Що називають динамічним режимом біполярного транзистора?
8. Яка схема включення біполярного транзистора використовувалась в домашній контрольній роботі? Які ще схеми включення біполярного транзистора Вам відомі?
9. Назвіть переваги і недоліки схеми включення біполярного транзистора зі спільним емітером.
10. Область застосування схеми включення біполярного транзистора зі спільним емітером.
11. Намалюйте схематично сімейства вихідних та вхідних статичних характеристик біполярного транзистора, включеного по схемі зі спільним емітером.
12. Для чого використовується пряма навантаження?
13. Алгоритм побудови прямої навантаження.
14. Яким чином визначають координати робочої точки?
15. Яким чином отримують вхідну динамічну характеристику біполярного транзистора?
16. Що називають h -параметрами біполярного транзистора?
17. Формула для обчислення параметра h_{11} в схемі включення біполярного транзистора зі спільним емітером.
18. Формула для обчислення параметра h_{12} в схемі включення біполярного транзистора зі спільним емітером.

19. Формула для обчислення параметра h_{21} в схемі включення біполярного транзистора зі спільним емітером.
20. Формула для обчислення параметра h_{22} в схемі включення біполярного транзистора зі спільним емітером.
21. Назвіть одиниці вимірювання параметра h_{11} . За допомогою яких характеристик біполярного транзистора його визначають?
22. Назвіть одиниці вимірювання параметра h_{12} . За допомогою яких характеристик біполярного транзистора його визначають?
23. Назвіть одиниці вимірювання параметра h_{21} . За допомогою яких характеристик біполярного транзистора його визначають?
24. Назвіть одиниці вимірювання параметра h_{22} . За допомогою яких характеристик біполярного транзистора його визначають?

ДОДАТКИ

**Додаток Д.1 Параметри елементів схеми найпростішого випрямляча для
першого завдання домашньої контрольної роботи**

№ вар.	Назва діоду	Коефіцієнт k	$U_{пр}$ В	$I_{пр.мах}$ А	$U_{звор.мах}$ В	$I_{звор.мах}$ мкА	$U_{тв}$ В	$I_{випр.тв}$ А
1	1N4001	0,5	1,1	1	53	100	110	1,5
2	BA157GP	0,6	1,3	1	100	100	200	1,7
3	BYV10-20	0,7	0,85	3	20	1000	40	5
4	BYV27-100	0,8	1,07	3	100	1	200	7
5	BYY28-200	0,5	1,1	3,5	200	150	400	8
6	1N4933	0,6	1,2	1	50	5	100	2
7	1N4937	0,7	1,2	1	600	150	1200	1
8	1N5400	0,8	1,1	3	50	5	100	4
9	1N5406	0,5	1,1	3	600	100	1200	4,5
10	1N4001	0,6	1,1	1	53	100	160	1,5
11	BA157GP	0,7	1,3	1	100	100	300	1,7
12	BYV10-20	0,8	0,85	3	20	1000	60	5
13	BYV27-100	0,5	1,07	3	100	1	300	7
14	BYY28-200	0,6	1,1	3,5	200	150	600	8
15	1N4933	0,7	1,2	1	50	5	150	2
16	1N4937	0,8	1,2	1	600	150	1800	1
17	1N5400	0,5	1,1	3	50	5	150	4
18	1N5406	0,6	1,1	3	600	100	1800	4,5
19	1N4001	0,7	1,1	1	53	100	220	1,5
20	BA157GP	0,8	1,3	1	100	100	400	1,7
21	BYV10-20	0,5	0,85	3	20	1000	80	5
22	BYV27-100	0,6	1,07	3	100	1	400	7
23	BYY28-200	0,7	1,1	3,5	200	150	800	8
24	1N4933	0,8	1,2	1	50	5	200	2
25	1N4937	0,5	1,2	1	600	150	2400	1

Додаток Д.2 Вихідні дані для другого завдання домашньої контрольної роботи

<i>Номер варіанту</i>	<i>Тип транзистора</i>	<i>Напруга Ек, В</i>	<i>Опір навантаження Rн, кОм</i>
1	КТ345А	16	0,6
2	КТ347А	6	0,3
3	ГТ308А	8	0,2
4	КТ312А	15	0,4
5	КТ104В	20	0,3
6	ГТ321А	15	0,024
7	ГТ122А	12	0,6
8	КТ3102А	30	0,65
9	ГТ322А	10	0,8
10	КТ375А	20	0,5
11	МП25	30	1,6
12	МП37	12,5	0,25
13	КТ343А	6	0,15
14	КТ312Б	18	0,6
15	КТ201А	12	0,4
16	КТ363А	6	0,15
17	КТ340А	6	0,15
18	КТ307А	4	0,8
19	КТ342А	4	0,07
20	КТ391А-2	14	1,3
21	П307	40	1,2
22	КТ316А	10	0,25
23	ГТ330Д	6	0,4
24	КТ347А	5	0,25
25	КТ380А	5	0,35

**Додаток Д.3 Зразок оформлення титульного аркушу пояснювальної
записки до домашньої контрольної роботи**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Факультет електроніки
Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА
з дисципліни "Фізичні основи електроніки"

Виконавець:

студент групи

(прізвище, ім'я та по-батькові)

(підпис)

Перевірів:

(посада, прізвище, ім'я та по-батькові)

(підпис)

Засвідчую, що у цій роботі немає
запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 20__

**Додаток Д.4 Зразок оформлення індивідуального завдання до домашньої
контрольної роботи**

ЗАВДАННЯ НА ДОМАШНЮ КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ

з дисципліни «Фізичні основи електроніки»

студенту гр. ____

(прізвище, ім'я та по-батькові)

ВАРІАНТ № ____

1. Розрахуйте і зобразіть схеми найпростіших випрямляючих кіл, що дозволяють:

а) забезпечити випрямлення синусоїдної напруги з амплітудним значенням

$U_m = \text{____ } B$, використовуючи діоди _____, що мають наступні
(назва діода)
параметри: $U_{звор.мах} = \text{____ } B$; $I_{звор.мах} = \text{____ } мкА$.

б) отримати випрямлений струм $I_{випр.т} = \text{____ } А$, використовуючи діоди
використовуючи діоди _____, що мають наступні параметри:
(назва діода)

$U_{пр} = \text{____ } B$; $I_{пр.мах} = \text{____ } А$.

Значення коефіцієнта навантаження прийняти рівним ____.

2. Транзистор _____, включений в підсилювальний каскад по
(тип транзистора)

схемі зі спільним емітером, працює на активне навантаження $R_H = \text{____}$.

Напруга живлення подається на каскад від джерела енергії, з ЕРС $E_K = \text{____}$.

Для подачі зміщення в коло бази використовується резистор R_B .

а) Побудувати динамічну характеристику і визначити положення робочої точки на вихідних та вхідних характеристиках транзистора для забезпечення оптимального (неспотвореного) підсилення.

б) Визначити в робочій точці параметри h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення : ДСТУ 3008-95 [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1998.
2. Омельчук, Т.В. Рекомендації щодо підготовки і видання навчальної, навчально-методичної та наукової літератури [Текст] / Т. В. Омельчук, Г. Л. Рябцев, М. В. Прокопенко, С. І. Горбачов. – 2-ге вид., переробл. і допов. – К.: ІВЦ "Політехніка", 2002. – 80 с.
3. Щупляк, Н. М. Основи електроніки і мікроелектроніки [Текст] / Н. М. Щупляк. – Дрогобич, 2014. – 443 с.
4. Омельчук, В. В., Електроніка та мікросхемотехніка [Текст] / В. В. Омельчук, І. К. Гладич. – Житомир: ЖВІРЕ, 2004. – 356 с.
5. Нефедов, А. В. Транзисторы для бытовой, промышленной и специальной аппаратуры. Справочное пособие [Текст] / А.В. Нефедов, А. И. Аксенов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2006. – 600 с.
6. Петухов, В. М. Транзисторы и их зарубежные аналоги. Биполярные транзисторы средней и большой мощности низкочастотные. Справочник. В 4 т. – Т.2 [Текст] / В. М. Петухов.– М.: ИП РадиоСофт, 2000. – 544 с.